

Comparative analysis of selected data recovery software

Analiza porównawcza wybranego oprogramowania służącego do odzyskiwania danych

Rafał Wróbel, Tomasz Szymczyk*

Department of Computer Science, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Poland

Abstract

This article presents a comparative analysis of the effectiveness of selected free versions of data recovery software on different storage media such as SSD, HDD, external USB memory stick and SD memory card. The study included the length of scanning and recovery operations and the quality of recovered files. The results of the performance tests were clearly presented in graphs and tables. Conclusions were drawn from the analysis to summarise the experiment.

Keywords: data recovery; comparative programme analysis; DMDE; Recuva

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono analizę porównawczą efektywności wybranych darmowych wersji programów do odzyskiwania danych na różnych nośnikach pamięci takich jak dysk SSD, dysk HDD, pamięć zewnętrzna USB oraz karta pamięci SD. Badania objęły długość wykonywania czynności skanowania i odzyskania danych oraz jakości odzyskanych plików. Wyniki badań wydajnościowych zostały przedstawione w przejrzysty sposób za pomocą wykresów oraz tabel. Na podstawie przeprowadzonej analizy zostały wyciągnięte wnioski podsumowujące przeprowadzone doświadczenie.

Słowa kluczowe: odzyskiwanie danych; analiza porównawcza programów; DMDE; Recuva

*Corresponding author

Email address: t.szymczyk@pollub.pl (T. Szymczyk)

Published under Creative Common License (CC BY4.0 Int.)

1. Wstęp

W dzisiejszym społeczeństwie, gdzie dane cyfrowe odgrywają kluczową rolę w niemal każdym aspekcie życia, bezpieczeństwo i integralność przechowywanych informacji stają się niezwykle istotne. Codzienne operacje biznesowe, edukacja, rozrywka oraz komunikacja coraz bardziej zależą od elektronicznego przetwarzania i przechowywania danych. Wraz z rosnącym znaczeniem danych cyfrowych, rośnie również ryzyko ich utraty z powodu różnorodnych przyczyn, takich jak awarie sprzętu, błędy oprogramowania, ataki cybernetyczne czy błędy użytkowników.

Odzyskiwanie danych to proces, który pozwala na przywrócenie dostępu do utraconych informacji. Jest to nie tylko kwestia technologiczna, ale także ekonomiczna, gdyż utrata kluczowych danych może prowadzić do poważnych strat finansowych oraz operacyjnych. W odpowiedzi na tę potrzebę, na rynku dostępna jest szeroka gama oprogramowania służącego do odzyskiwania danych, zarówno darmowego, jak i komercyjnego. Każde z tych rozwiązań oferuje różne funkcjonalności, skuteczność oraz poziom trudności obsługi.

Ze względu na różnorodność urządzeń, sposobu zapisu oraz próbie stworzenia uniwersalnego oprogramowania, znaczna większość tych rozwiązań jest płatna. Wersje testowe oferują pewien zakres możliwości, zachowując przy tym ograniczenia takie jak liczba plików lub wielkość odzyskanych danych. Na przekór temu na rynku pojawiają się podobne rozwiązania, lecz w formie darmowej. Oferują pewien zakres czynności z ewentualną możliwością rozszerzenia już za opłatą. W ten

sposób użytkownik dostaje możliwość odzyskania danych bez obaw, że w pewnym momencie proces zostanie przerwany z informacją o wykorzystanym dostępie i przedstawioną ofertą zakupu.

Przy utracie danych każde działanie ma znaczenie. Wykorzystanie jednego czy drugiego programu w przypadku nieskuteczności może uniemożliwić odzyskanie danych. Czas również niekorzystnie wpływa na to, dlatego w takich sytuacjach należy działać jak najszybciej. Stąd większość użytkowników, znając te zagrożenia oraz aby uniknąć wysokich kosztów zakupu płatnej wersji, korzystają z rozwiązań darmowych. Przeprowadzone badanie, na podstawie wybranych, bezpłatnych programów, pozwoli na ocenę wydajności i wskaże, czy warto sięgać po ten rodzaj oprogramowania.

2. Przegląd literatury

Współczesne nośniki pamięci, takie jak dyski SSD, HDD czy karty SD, różnią się nie tylko fizyczną budową, lecz także sposobem, w jaki dane są przechowywane i zarządzane. W miarę zwiększania liczby posiadanych cyfrowych informacji, ryzyko utraty danych wzrasta, co powoduje wykonywanie różnego rodzaju badań w celu ustalenia najskuteczniejszej metody działania.

Przewaga dysków SSD nad HDD jest znacząca, ze względu na prędkość przetwarzania danych w zakresie zarówno odczytu jak i zapisu. Jednak brak standaryzacji w algorytmów zachowania kontrolerów SSD powoduje, iż różni producenci stosują różne technologie, takie jak TRIM (operacja usuwania) czy technologie zarządzania zużyciem pamięci (ang. wear-leveling). Wpływa to niekorzystnie na proces odzyskiwania z uszkodzonych

dysków SSD oraz może stanowić nie lada wyzwanie. W przeprowadzonym badaniu [1] dokonano analizy zachowania się nośników SSD po wykonaniu operacji TRIM lub deallocate, po usunięciu pojedynczego pliku. Odkryto, że mimo wydania polecenia TRIM ON, bloki z nieaktualnymi danymi nie zawsze są natychmiastowo usuwane. Dlatego istnieje możliwość odzyskania tych danych za pomocą metod odzyskiwania danych opartych na oprogramowaniu.

Ze względu na szybki dostęp do danych czy niskie zużycie energii a przede wszystkim mobilność, pamięć flash ma swoje zastosowania w dzisiejszej technologii. Jednak takie urządzenia również mają swoje ograniczenia. W artykule [2] zawarto analizę różnych metody odzyskiwania danych z pamięci flash w przypadku awarii systemu lub nagłego zaniku zasilania. Porównanie technologii odzyskiwania danych w takich sytuacjach pokazuje, że mimo rozbudowanych algorytmów i postępów technologii w dziedzinie odzyskiwania, wciąż nie stworzono idealnego rozwiązania.

Odzyskiwanie danych z różnych nośników jest możliwe przy wykorzystaniu zaawansowanego sprzętu i specjalnego oprogramowania do odzyskiwania danych. W przeprowadzonej analizie [3] stwierdzono, że w przypadku odzyskiwania danych z jednostek pamięci, które korzystają z szyfrowania jak BitLocker, TrueCrypt czy FileVault konieczne jest posiadanie hasła. W przypadku braku dostępu do kontrolera lub jednostki pamięci kontrolera pamięci flash, niezbędna jest znajomość schematu pokazującego punkty kontaktowe. Jednak zauważono, iż dostępne magistrale różnią się w zależności od marek lub nawet między modelami jednego producenta. Producenci nie udostępniają tych schematów, posiadają je tylko firmy produkujące oprogramowanie. Utrudnia to proces odzyskiwania oraz tworzenia nowej technologii czy programów, które mogłyby usprawnić ten proces. Bez znajomości schematów, ingerencja fizyczna lub programowa nie pomoże w odzyskaniu danych.

3. Wykorzystane oprogramowanie

Współczesne technologie informacyjne oferują szeroki wachlarz narzędzi do odzyskiwania utraconych danych. Spośród szerokiej gamy programów oferowanych przez różnych producentów zdecydowano się na wykorzystanie czterech, ze względu na pozytywne opinie użytkowników zawarte w komentarzach na stronach producentów, łatwy dostęp do programu oraz brak limitu na przetwarzanie jak i odzyskiwanie danych.

Poniżej przedstawiono krótki opis każdego, wybranego oprogramowania:

1. DMDE – to zaawansowany program do odzyskiwania danych, który umożliwia użytkownikom przywracanie utraconych plików z różnych nośników danych. Stworzony przez firmę DMDE Software, program ten oferuje zaawansowane funkcje przywracania danych, które są skuteczne w przypadku przypadkowego usunięcia, awarii systemu, błędów partycji czy formatowania nośnika. Interfejs użytkownika DMDE jest profesjonalny, choć bardziej

skomplikowany niż w przypadku niektórych innych narzędzi do odzyskiwania danych, co czyni go bardziej odpowiednim dla zaawansowanych użytkowników [11].

2. Recuva – to intuicyjny program do odzyskiwania danych, stworzony przez firmę Piriform, obecnie część Avast. Zaprojektowany z myślą o prostocie obsługi, umożliwia przywracanie przypadkowo usuniętych plików, takich jak dokumenty, zdjęcia, filmy czy inne dane. Wbudowany czytelny interfejs użytkownika sprawia, że jest przejrzysty dla każdego. Program oferuje różne tryby skanowania, w tym skuteczny tryb szybki oraz głęboki, co pozwala dostosować proces odzyskiwania do szybkich i konkretnych potrzeb [12].
3. TestDisk&PhotoRec – to oprogramowanie typu open-source oferujące szereg zastosowań. TestDisk to aplikacja została stworzona przede wszystkim, aby pomóc odzyskać utracone partycje, których utrata może być spowodowana przez wadliwe oprogramowanie, wirusy lub błędy człowieka (takie jak przypadkowe usunięcie tablicy partycji. Z kolei PhotoRec, to narzędzie specjalizujące się głównie w odzyskiwaniu utraconych plików multimedialnych, takich jak zdjęcia, filmy czy dokumenty. Narzędzie to jest całkowicie bezpłatne i rozpowszechniane na warunkach licencji GNU GPL [13].
4. Windows File Recovery – to darmowe narzędzie opracowane przez firmę Microsoft, przeznaczone do odzyskiwania usuniętych plików na komputerach z systemem Windows 10 i nowszymi. Program jest dostępny jako aplikacja w Microsoft Store i korzysta z interfejsu wiersza poleceń, co może być wyzwaniem dla niektórych użytkowników [14].

4. Opis badania

Badanie polegało na porównaniu wydajności oraz efektywności wybranych programów do odzyskiwania danych z najpopularniejszych obecnie nośników. Aby uniknąć błędów lub fałszywych pomiarów, każde działanie przeprowadzono niezależnie od siebie. Skupiono się na odzyskiwaniu danych NTFS i FAT32 dla systemu operacyjnego Windows.

Tabela 1: Opis wykorzystanego środowiska badawczego

Rodzaj urządzenia	Nazwa urządzenia
Procesor	Intel® Core™ i5-6600K
Pamięć RAM	Corsair Vengeance LPX 2400MHz CL16 2x8GB
Płyta główna	Gigabyte GA-B150M-D3H (rev. 1.0)
Zasilacz	Antec VP-PC 500W
System operacyjny	Windows 10 Pro 64bit

Do przeprowadzenia badań przygotowano środowisko badawcze zbudowane z podzespołów opisanych

w Tabeli 1. Wykorzystany rodzaj nośników danych oraz modele przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2: Rodzaj i model wykorzystanych nośników danych

Rodzaj nośnika	Model
Dysk SSD	Transcend SSD370S 128GB
Dysk HDD	Hitachi 500GB 2.5" SATA II (HTS545050A7E380)
Pendrive	ADATA USB Flash Drive UV150 32GB
Karta pamięci SD	Toshiba MicroSDHC I 8GB

Do analizy wybrano odpowiednie pliki:

- Plik w formacie JPG o rozmiarze 11,3MB,
- Plik w formacie DOCX o rozmiarze 47 KB,
- Dokument w formacie PDF o rozmiarze 349 KB,
- Plik w formacie WEBM o rozmiarze 475 MB, w rozdzielczości 4K,
- Plik w formacie MP3 o rozmiarze 4,04 MB,
- Plik w formacie ZIP, normalna metoda konwersji o rozmiarze 490MB,
- Plik w formacie RAR, normalna metoda konwersji o rozmiarze 490MB,
- Plik z hasłem (hasło: AlaMaKota) w formacie ZIP, normalna metoda konwersji o rozmiarze 490MB,
- Plik z hasłem (hasło: AlaMaKota) w formacie RAR, normalna metoda konwersji o rozmiarze 491MB.

Urządzenia przed każdym badaniem zostały w pełni sformatowane, następnie wymienione pliki skopiowano na dany nośnik. Przed podjęciem dalszych kroków, komputer wyłączono i odłączono całkowicie od prądu na okres około pięciu minut. Po uruchomieniu całego osprzętu, w zależności od wybranej opcji wykonywano następujące czynności:

1. Usunięcie plików poprzez SHIFT + DELETE,
2. Usunięcie plików poprzez SHIFT + DELETE i zapełnienie 25% pojemności nośnika,
3. Usunięcie plików poprzez SHIFT + DELETE i zapełnienie 50% pojemności nośnika,
4. Usunięcie plików poprzez SHIFT + DELETE i zapełnienie 100% pojemności nośnika,
5. Usunięcie plików poprzez wybranie funkcji szybkiego formatowania.

Po wykonaniu jednej z opcji, przygotowana stacja robocza została wyłączona na okres około pięciu minut i uruchomiona. Do zapełnienia pojemności zastosowano systemowe narzędzie w aplikacji wiersza poleceń z poziomu administratora, za pomocą którego został wygenerowany plik zapełniający nośnik o zadanej wartości podanej w bajtach (Listing 1).

Listing 1: Tworzenie pliku zapełniającego

```
fsutil file createnew G:\Zapelniaacz.zip 127932751872
```

Aby zbadać skuteczność oprogramowania, na potrzeby tego badania, zostały ustalone specjalne kryteria pozwalające na ocenę odzyskanych plików. Wartość '1' odpowiadała twierdząco na pytanie a wartość '0' zaprzeczała (Tabela 3). Wartość **SUMA** to liczba zebranych punktów podczas oceny odzyskanych plików. Maksymalna liczba punktów, którą może otrzymać program wynosi 36.

Tabela 3: Przykładowa tabela oceny jakości odzyskanych plików

Typ Pliku	Czy odzyskano plik?	Czy nazwa została zachowana?	Czy plik uruchamia się?	Czy zawartość pliku jest w stanie nienaruszonym?
DOC X	1	1	1	0
PDF	0	0	0	0
MP3	0	0	0	0
JPG	1	0	1	1
WEB M	1	1	0	0
ZIP bez hasła	1	1	1	1
ZIP z hasłem	1	0	1	0
RAR bez hasła	1	0	0	0
RAR z hasłem	1	1	0	0
SUMA	17			

Aby dany plik, otrzymał jeden punkt według wyznaczonych kryteriów, musiał zostać spełniony w stu procentach. Jeżeli w wybranej kategorii na przykład w kwestii zachowania nazwy, pojawiła się nawet drobna różnica, wskazany plik został oceniony na zero punktów. Tylko w przypadku pełnej zgodności został przydzielony jeden punkt.

Wartość procentową jakości odzyskiwanych plików J_q obliczono na podstawie liczby zdobytych punktów x dzieloną przez maksymalną liczbę punktów możliwych do zdobycia, zgodnie ze wzorem:

$$J_q = \frac{x}{36} * 100\% \quad (1)$$

5. Wyniki

Analiza wyników skupia się na efektywności wybranych programów oraz czasie poświęconym na proces skanowania i odzyskiwania plików. Ze względu na specyfikę badań i ich ilość, wyniki zostały przedstawione poprzez opis zachowania programów dla wszystkich scenariuszy badania, dla jednego urządzenia.

5.1. Dysk SSD

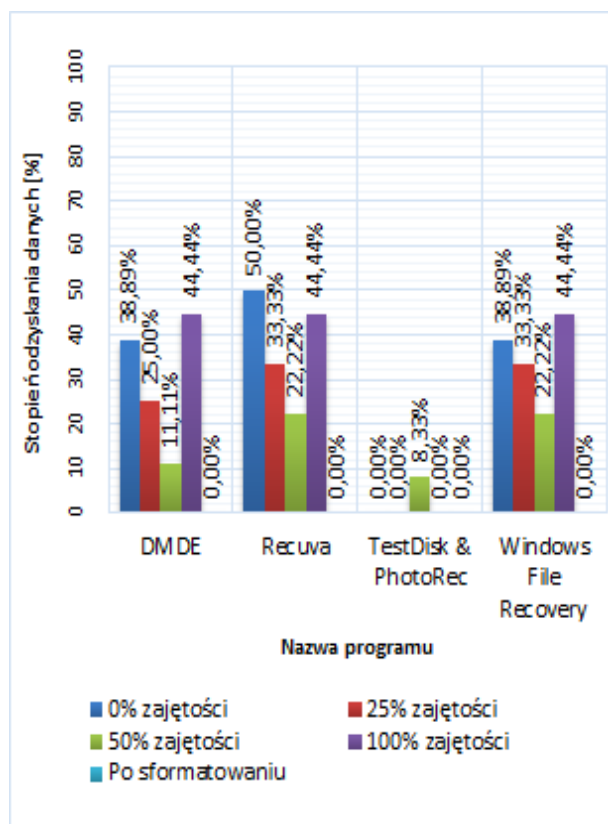
Wyniki badania wskazują na ograniczoną skuteczność wszystkich testowanych programów w odzyskiwaniu działających plików z dysku SSD, szczególnie po jego sformatowaniu.

Program DMDE, mimo odzyskania plików przy 0%, 25%, 50% i 100% zajętości, niemożliwe było ich uruchomienie, a po sformatowaniu nic nie odnaleziono.

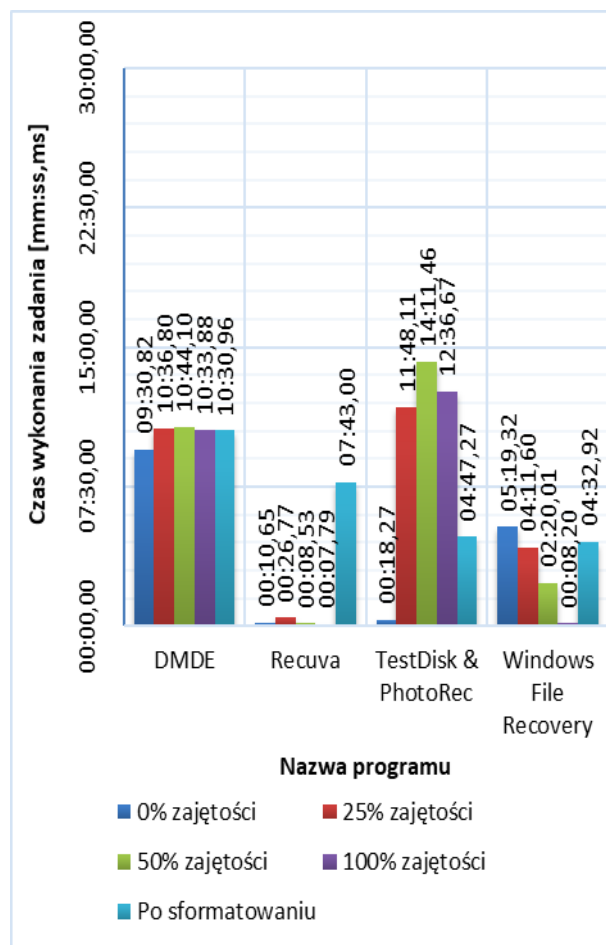
Narzędzie Recuva wykazało podobne problemy – pliki zostały odzyskane, ale nie otwierały się poprawnie, a po sformatowaniu także nie znaleziono żadnych plików.

TestDisk&PhotoRec okazał się najmniej skuteczny, odzyskując tylko jeden plik .zip z nienaruszoną zawartością przy 50% zajętości, ale nie odzyskując żadnych plików w pozostałych przypadkach.

Program Windows File Recovery nie był w stanie uruchomić odzyskanych plików na żadnym poziomie zajętości nośnika, a po sformatowaniu nie znalazł żadnych plików.



Rysunek 1: Jakość odzyskanych danych dla dysku SSD.



Rysunek 2: Czas skanowania i odzyskiwania danych.

5.2. Dysk HDD

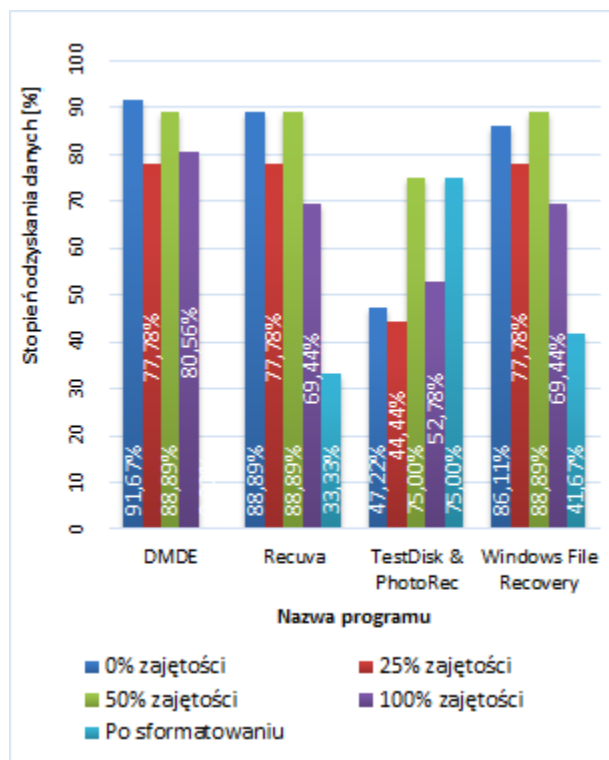
Badanie przeprowadzone na dysku HDD wykazało różnicę w jakości odzyskanych plików, jednak nie obyło się bez komplikacji.

Narzędziem DMDE udało się odzyskać większość plików z wyjątkiem pliku .docx. Pojawiły się jednak problemy z odtwarzaniem zawartości archiwów.

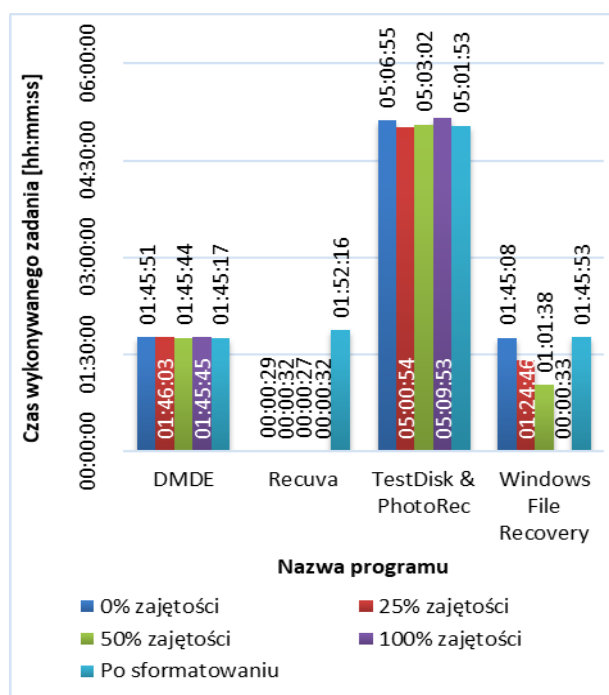
Programem Recuva również udało się odzyskać większość plików, jednak skompresowane pliki z rozszerzeniem .rar miały uszkodzoną częściowo bądź całą zawartość.

Oprogramowaniem TestDisk&PhotoRec skutecznie udało się odzyskać większość plików. Warto jednak wspomnieć, że nie zachowano nazw. Drugim poważnym mankamentem był fakt, iż skompresowane pliki miały zmienioną wagę (rozmiar pliku). W tym miejscu program próbował odzyskać plik .rar o rozmiarze całego dysku HDD.

Narzędzie Windows File Recovery odzyskało wszystkie pliki, ale utracono nazwę dla pliku .docx, a niektóre skompresowane pliki z rozszerzeniem .rar zawierały liczne błędy.



Rysunek 3: Jakość odzyskanych danych dla dysku HDD.



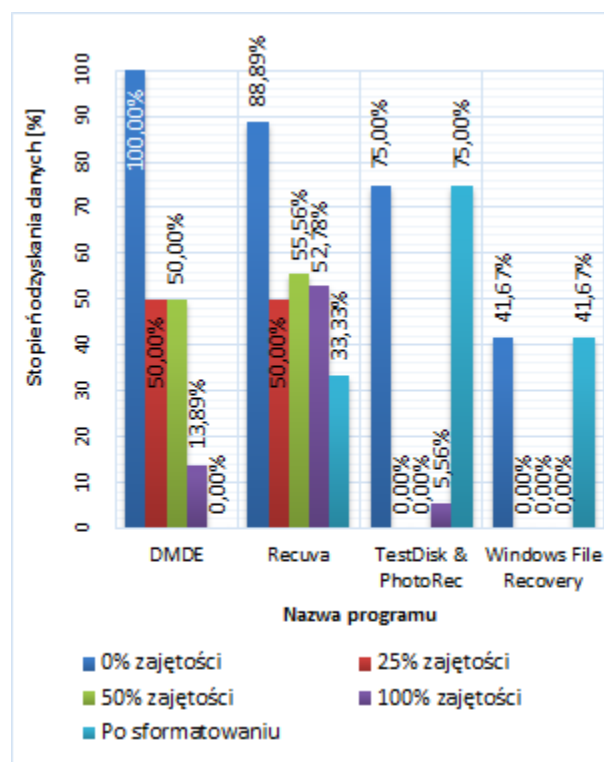
Rysunek 4: Czas skanowania i odzyskiwania danych.

Programem DMDE odzyskano wszystkie pliki przy 0% zajętości, zachowując nazwy, wagę i jakość, jednak przy większej zajętości i po sformatowaniu nie znaleziono żadnych plików lub odzyskanych plików nie udało się prawidłowo odczytać.

Narzędziem Recuva odzyskano wszystkie pliki przy 0% zajętości, ale pojawiły się trudności z otwarciem plików .rar. Przy większej zajętości program odzyskał pliki z błędami w zawartości. Na ciekawy błąd natknęto się po sformatowaniu pamięci. Program odzyskał aż 14 plików. Problem w tym, że badanych plików było tylko 9. Wśród odzyskanych plików znalazły się pliki będące wcześniejszymi plikami wypełniającymi.

Z wykorzystaniem oprogramowania TestDisk&PhotoRec odzyskano wszystkie pliki przy 0% zajętości, jednak bez zachowania nazw. Program miał trudności z odzyskiwaniem plików przy większej zajętości i po sformatowaniu, odzyskując tylko część plików lub nie odzyskując ich wcale.

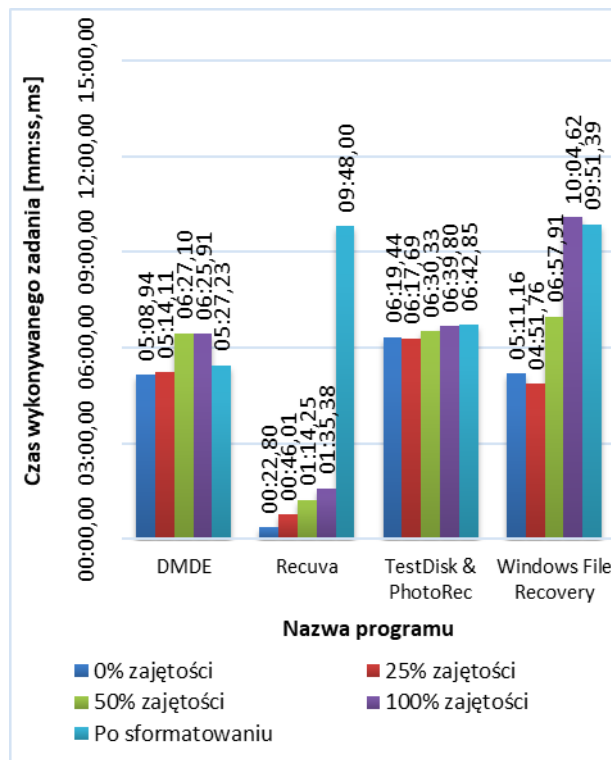
Wykorzystując narzędzie Windows File Recovery odzyskało pięć z dziewięciu plików przy 0% zajętości. Z każdym kolejnym badaniem (zajętość 25%, 50%, 100%) odzyskano tylko plik wypełniający lub nie odzyskano żadnego pliku. Po sformatowaniu odzyskano jednak prawidłowe dane łącznie z plikami wypełniającymi. Program jednak nie odzyskał prawidłowo nazw testowych plików.



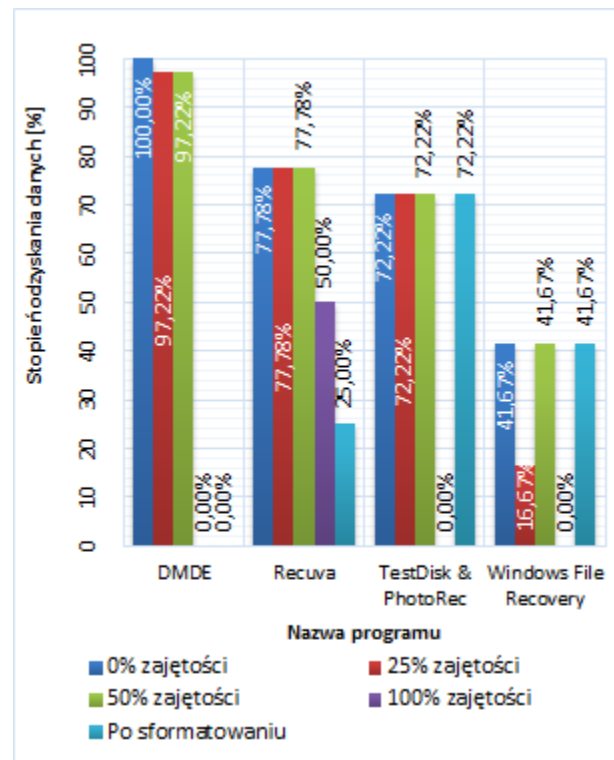
Rysunek 5: Jakość odzyskanych danych dla pamięci USB.

5.3. Pamięć USB

Po analizie skuteczności odzyskiwania danych na dyskach HDD dokonano analizy na przenośnych dyskach podpiętych przez złącze USB.



Rysunek 6: Czas skanowania i odzyskiwania danych.



Rysunek 7: Jakość odzyskanych danych dla karty MicroSD.

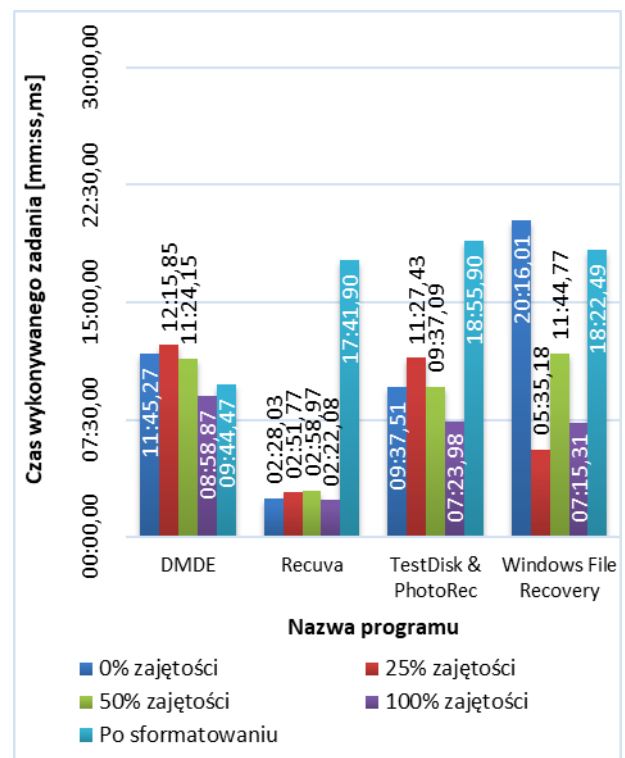
5.4. Karta MicroSD

Program DMDE odzyskał wszystkie pliki przy 0% zajętości przy 25% i 50% pojawiły się drobne błędy, lecz nadal odzyskano wszystko. Jednak w przypadku 100% zajętości oraz po szybkim formatowaniu nie odnaleziono żadnych plików.

Narzędzie Recuva odzyskał wszystkie pliki przy 0%, 25% oraz 50% zajętości, ale spakowane pliki nie posiadały poprawnej zawartości. Przy 100% zajętości odzyskano wszystko z zachowaniem nazw, ale odzyskane pliki okazały się uszkodzone. Po sformatowaniu odzyskano trzy pliki bez zachowania nazw, które otwierały się poprawnie.

TestDisk&PhotoRec odzyskał wszystkie pliki bez zachowania nazw przy 0% zajętości, ale pliki .rar z hasłem były czterokrotnie większe i zawierały błędy. Tak samo wykazał się dla 25% oraz 50% zajętości. Po sformatowaniu odzyskano wszystkie pliki, ale bez zachowania nazw i z problemami w zawartości plików .rar.

Windows File Recovery odzyskał pliki w folderach z nazwą rozszerzenia, ale bez zachowania nazw plików przy 0% i 50% zajętości oraz po sformatowaniu. Przy 25% zajętości program wykazał więcej błędów w odzyskanych plikach, natomiast przy 100% nie odzyskano utraconych danych.



Rysunek 8: Czas skanowania i odzyskiwania danych.

6. Wnioski

Odzyskiwanie danych jest procesem, który wymaga specjalistycznego oprogramowania lub zaawansowanych technik w celu przywrócenia utraconych, usuniętych lub uszkodzonych plików z różnych nośników danych, takich jak .rar zawierały liczne dyski twarde (HDD), dyski SSD, pamięci USB czy karty pamięci. Proces ten może obejmować skanowanie nośnika, identyfikowanie odzyskiwanych plików oraz przywracanie ich do stanu używalności. Skuteczność odzyskiwania zależy od wielu czynników, w tym od czasu reakcji po utracie danych oraz specyfiki nośnika.

Przeprowadzone badanie wykazało zróżnicowaną skuteczność narzędzi do odzyskiwania danych w zależności od typu nośnika oraz stopnia jego zapełnienia.

W sytuacji, gdy po utracie danych natychmiast przetrwano pracę na dysku (zaprzesano wszystkich operacji dyskowych), wszystkie narzędzia wykazywały lepszą skuteczność. Wraz ze wzrostem zajętości nośnika danych, programy traciły na jakości oraz skuteczności.

W całym procesie można zauważyć, że w niektórych przypadkach programy nie były w stanie zachować nazw plików. Taka sytuacja może być problematyczna, gdy utracono i odzyskano bardzo dużą ilość plików, gdzie nazwa miała kluczowe znaczenie w identyfikacji odzyskanych danych. Niemniej, zdecydowanie większą wartość uznaje się odzyskany plik bez nazwy, który jest w większości lub w pełni używalny.

Literatura

- [1] D. Kuts, M. Kuts, Deleted data recovery on solid-state drives by software based methods, Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT) (2022) 267-270, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9923355>.
- [2] V. D. Tran, D. J. Park, A survey of data recovery on flash memory, International Journal of Electrical & Computer Engineering 10(1) 2020 360-376, <https://10.11591/ijece.v10i1.pp360-376>, [03.06.2024]
- [3] A. Özdemir, Ş. Gülcü, Causes of Digital Data Loss and Data Recovery Methods, In 2nd International 5 Ocak Congress On Applied Sciences (2021) 1-18, https://www.researchgate.net/publication/356579868_CAUSES_OF_DIGITAL_DATA_LOSS_AND_DATA_RECOVERY_METHODS, [03.06.2024]
- [4] N. T. Duy, Data Recovery on The Hard Disk in FAT32 Format, International Multilingual Journal of Science and Technology 5 (3) (2020) 843-849.
- [5] A. Aldaej, M. G. Ahamad, M. Y. Uddin, Solid state drive data recovery in open-source environment, In 2nd International Conference on Anti-Cyber Crimes (2017) 228-231.
- [6] D. Solodov, I. Solodov, Data recovery in a case of fire-damaged hard disk drives and solid-state drives, Forensic Science International: Reports 3 (2021) 100199, <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2021.100199>.
- [7] Y. Z. Güllüce, R. Benzer, Hard disk failure and data recovery methods in computer forensic Adli bilişimde hard disk arızaları ve arızalı disklerden veri kurtarma yöntemleri, Journal of Human Sciences 12 (1) (2015) 206-225.
- [8] H. Suthar, P. Sharma, An Approach to Data Recovery from Solid State Drive: Cyber Forensics, In Advancements in Cybercrime Investigation and Digital Forensics, Apple Academic Press (2023) 185-204.
- [9] H. Jin, K. Frost, I. Sousa, H. Ghaderi, A. Bevan, M. Zakotnik, C. Handwerker, Life cycle assessment of emerging technologies on value recovery from hard disk drives, Resources, Conservation and Recycling (157) (2020) 104781, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104781>.
- [10] R. Winter, SSD vs HDD—data recovery and destruction, Network Security (3) (2013) 12-14.
- [11] DMDE <https://dmde.pl>, [16.05.2024].
- [12] T. Szydłowski, Jak korzystać z Recuva? Przedstawiamy program do odzyskiwania danych, <https://www.komputerswiat.pl/poradniki/programy/recuva-program-ktory-pomoze-ci-odzyskac-utracone-dane-z-kazdej-pamieci/qvm7hq8>, [16.05.2024].
- [13] Narzędzia do odzyskiwania danych, TestDisk&PhotoRec, <https://www.instalki.pl/download/programy/windows/narzedzia/odzyskiwanie-danych/testdisk-photorec/>, [16.05.2024].
- [14] MSSupport, Odzyskiwanie utraconych plików na Windows 10, <https://support.microsoft.com/pl-pl/windows/odzyskiwanie-utraconych-plikow-na-windows-10-61f5b28a-f5b8-3cc2-0f8e-a63cb4e1d4c4>, [16.05.2024].